CZYM SIĘ RÓŻNI SZEŚĆ SIGMA OD TRZY SIGMA?

dr hab. inż. Adam Walanus, StatSoft Polska Sp. z o.o.

Głośna dziś „przełomowa" metodologia *Sześć sigma* zdobyła powszechne uznanie dzięki skuteczności i bardzo dobrym wynikom ekonomicznym. Obie te pozytywne cechy wynikają z dwóch głównych przesłanek:

- *Sześć sigma* stawia wysokie wymagania,
- *Sześć sigma* każe chodzić po ziemi.

Pierwszy postulat zawarty jest w nazwie metody: *Sześć sigma - 6σ*, oczywiście 6 to dwa razy więcej niż tradycyjne 3σ. A więc, wydawałoby się, że wymagana tu jest dwa razy większa precyzja i dokładność. Ale z drugiej strony, postulat trzeźwego traktowania możliwości procesów powoduje, że prawdziwe wymagania *Sześć sigma* nie są aż tak wysokie.

Tradycyjne Trzy sigma

Co można rozumieć przez *tradycyjne Trzy sigma*? Przede wszystkim starą, dobrą konwencję Shewharta mówiącą, że w przedziale ±3σ rozkładu normalnego mieści się praktycznie cały proces. Przy czym „praktycznie cały" oznacza 99,73%, a więc poza specyfikacjami pozostaje 0,27%, czyli ok. 3 sztuki na tysiąc. Przeliczając to jeszcze na *ppm* (parts per million), mając na uwadze porównanie z metodą *Sześć sigma*, gdzie wadliwość jest tak niska, że nie używa się już procentów ani promili, otrzymujemy 3000 sztuk wadliwych na milion (3000 ppm). Dokładniej należałoby napisać 2700 ppm, pamiętajmy jednak, że chodzi tu o prawdopodobieństwo i nie ma sensu dokładność typu mechaniki precyzyjnej. Nigdy nie będziemy mieli pewności, że nasz proces aktualnie jest na poziomie 3000 ppm a nie 2000 ppm albo 4000 ppm. Zdawanie sobie sprawy z dokładności statystycznych ocen procesu to właśnie „chodzenie po ziemi" charakterystyczne dla *Sześć sigma*.

Wróćmy jeszcze do tradycji Trzy sigma. Przypomnijmy, że na kartach kontrolnych Shewharta stosuje się granice kontrolne właśnie na poziomie ±3σ. Testy nielosowych konfiguracji punktów na kartach też dobrane są tak, by odpowiadały idei ±3σ. Również w definicji współczynników zdolności procesu zakłada się, że „szerokość procesu" wynosi ±3σ, i taką szerokość porównuje się z zakresem specyfikacji. Z takiej definicji wynika, że proces o standardowej zdolności równej 1 daje 3000 ppm niezgodności.

Sześć sigma a Trzy sigma

Przejdźmy do *Sześć sigma*. Mówi się, że proces na poziomie *6σ* daje 3,4 ppm niezgodności. Tak więc łatwo porównać tradycyjny proces *3σ* z *procesem 6σ*. Jeżeli zaokrąglić 3,4 ppm do 3 ppm to można powiedzieć, że przechodząc od dotychczasowego *3σ* do *procesu 6σ*, przechodzimy od 3000 ppm do 3 ppm niezgodności, czyli **tysiąckrotnie** zmniejszamy frakcję braków.

Tabela 1. Frakcja niezgodności w tradycyjnym procesie *3σ* i w *procesie 6σ*.

Proces	Niezgodności
tradycyjny 3σ	2700 ppm
6σ	3,4 ppm

Patrząc na powyższą tabelkę pamiętać jednak trzeba, że tradycyjne podejście do obliczania oczekiwanej frakcji niezgodności jest inne niż podejście *Sześć sigma*. W tradycyjnym podejściu proces o *sigmie* tak małej, że odległość od średniej procesu do granic specyfikacji wynosiłaby 6σ (zdolność=2) dawałby niewiarygodnie małą liczbę braków wynoszącą 0,002 ppm (patrz tabela 2).

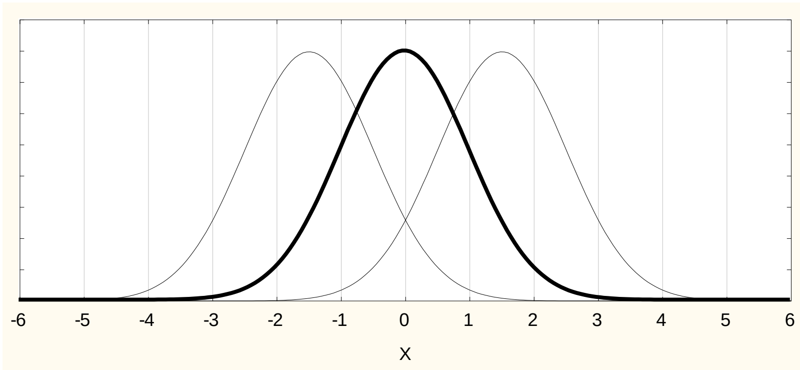
Tabela 2. Frakcja niezgodności procesów na poziomach *3σ* i *6σ* w podejściu tradycyjnym i *Sześć sigma*.

Metoda	Proces	Niezgodności
tradycyjna	3σ	2700 ppm
	6σ	0,002 ppm
Sześć sigma	3σ	67000 ppm
	6σ	3,4 ppm

Frakcja braków 0,002 ppm oznacza, że jeśli produkujemy jedną sztukę na sekundę, to na pierwszą niezgodność ze specyfikacją czekać będziemy musieli przeciętnie 15 lat. Nie brzmi to realistycznie. Co prawda proces o *sigmie* tak małej, że wynosi tylko 1/6 odległości od średniej do LSL lub USL, można sobie wyobrazić, ale 15 lat produkcji bez jednego braku jest nie do wyobrażenia. Dlatego wymyślono *Sześć sigma*.

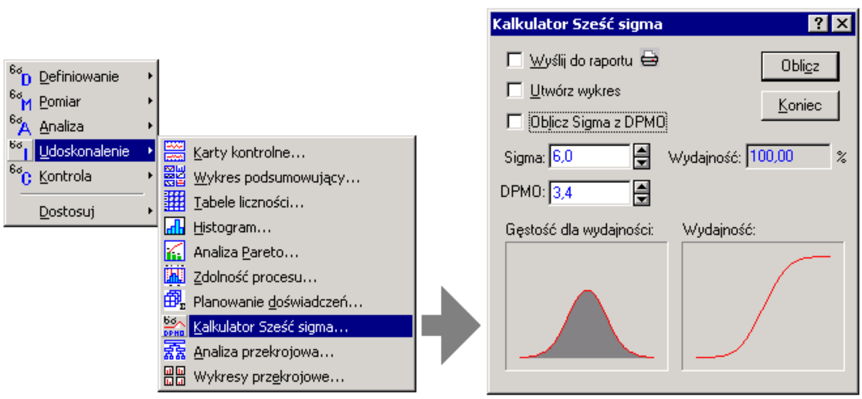
Miara jakości Sześć sigma

Metodyka *Sześć sigma* polega między innymi na dobrym kontakcie z rzeczywistością. Jeżeli z analizy wyników pomiarów otrzymaliśmy taki wynik, że kluczowa wielkość podlega rozkładowi normalnemu i że na przykład średnia procesu wynosi 10,5mm a σ=0,1mm, to przy specyfikacji klienta: LSL=10,0mm, USL=11,0mm jesteśmy na poziomie ±5σ, rozumując w tradycyjny sposób. Z rozkładu normalnego wynika, że braków powinniśmy mieć 0,57 ppm. Czy rzeczywiście jest tak dobrze? Niewykluczone, że jest tak dobrze. Bądźmy jednak realistami. Co prawda analizując wyniki procesu z jednego dnia, może nawet z tygodnia, otrzymaliśmy śr=10.5mm i σ=0,1mm, jednak nie możemy mieć pewności, że nic się nie zmieni. Ludzie stąpający po ziemi (w Motoroli) założyli, że nic nie jest absolutnie stabilne, i przyjęli, że w typowym procesie będą miały miejsce przesunięcia średniej procesu rzędu ±**1,5**σ.



Tak więc, jeżeli bylibyśmy nawet na poziomie ±6σ i proces byłby doskonale wycentrowany (środkowa krzywa dzwonowa na rysunku powyżej), musimy liczyć się z przesunięciem o 1,5σ w prawo lub w lewo. A dla procesu przesuniętego np. w prawo okazuje się, że USL=6 jest oddalone już tylko o 4,5σ od środka rozkładu. Dla 4,5σ otrzymujemy (wg rozkładu normalnego) „aż" 3,4 ppm defektów.

Można zapytać, dlaczego wszystkie procesy mają mieć tendencję do wędrowania na boki akurat o 1,5σ? - dokładnie o tyle, tak jak to stwierdzili kiedyś twórcy metody *Sześć sigma* działający w przemyśle elektronicznym. Procesy są najróżniejsze i stosunek amplitudy długoterminowych fluktuacji do krótkoterminowej zmienności może być inny niż 1,5, trzeba jednak trzymać się jakiegoś standardu.



Po uwzględnieniu możliwego przesunięcia procesu o ±1,5σ obliczanie prawdopodobieństwa komplikuje się. Dlatego w *STATISTICA* jest *Kalkulator Sześć sigma* (zob. rysunek powyżej).

Poniżej podana jest tabela (3) pozwalająca obliczyć frakcję niezgodności na podstawie poziomu sigma procesu i odwrotnie. W tabeli podane są wartości DPMO (Defects Per Million Opportunities), czyli liczba defektów na milion możliwości wystąpienia defektu. Jeżeli w jednostce produktu możliwy jest tylko jeden defekt, to DPMO jest po prostu frakcją braków, oczywiście wyrażaną w ppm, czyli na milion.

Tabela 3. Zależność pomiędzy DPMO (liczbą niezgodności na milion możliwości) a poziomem sigma procesu.

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
0,0	1000000,000000	2,8	96809,024491	5,6	20,657507
0,1	974042,632462	2,9	80762,071780	5,7	13,345749
0,2	947764,978172	3,0	66810,598940	5,8	8,539905
0,3	920860,648894	3,1	54801,404152	5,9	5,412544
0,4	893050,498874	3,2	44566,763565	**6,0**	**3,397673**
0,5	864094,878021	3,3	35931,112442	6,1	2,112455
0,6	833804,295217	3,4	28717,039000	6,2	1,300807
0,7	802048,048931	3,5	22750,418601	6,3	0,793328
0,8	768760,457802	3,6	17864,590390	6,4	0,479183
0,9	733944,418177	3,7	13903,547158	6,5	0,286652
1,0	697672,126599	3,8	10724,167923	6,6	0,169827
1,1	660082,929632	3,9	8197,569245	6,7	0,099644
1,2	621378,395992	4,0	6209,684315	6,8	0,057901
1,3	581814,839773	4,1	4661,198741	6,9	0,033320
1,4	541693,650581	4,2	3466,979793	7,0	0,018990
1,5	501349,898032	4,3	2555,133646	7,1	0,010718
1,6	461139,765933	4,4	1865,815118	7,2	0,005990
1,7	421427,428495	4,5	1349,899018	7,3	0,003316
1,8	382572,001953	4,6	967,603744	7,4	0,001818
1,9	344915,187657	4,7	687,138220	7,5	0,000987
2,0	308770,167805	4,8	483,424291	7,6	0,000530
2,1	274412,226338	4,9	336,929343	7,7	0,000282
2,2	242071,451953	5,0	232,629119	7,8	0,000149
2,3	211927,746626	5,1	159,108611	7,9	0,000078
2,4	184108,221690	5,2	107,799744	8,0	0,000040
2,5	158686,925170	5,3	72,348049	8,1	0,000021
2,6	135686,718450	5,4	48,096347	8,2	0,000010
2,7	115083,015968	5,5	31,671243	8,3	0,000005

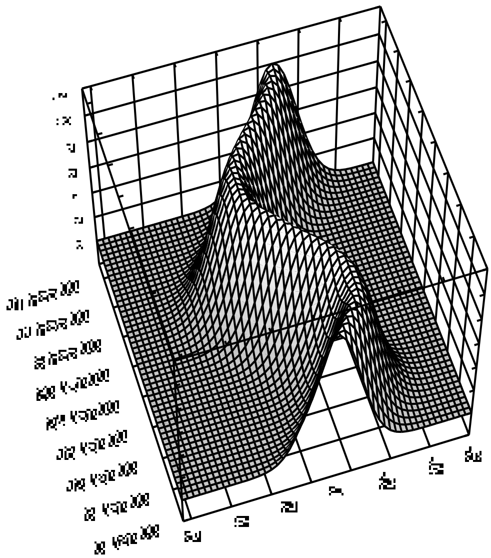
Zauważmy, że poprawa poziomu sigma procesu o jeden daje bardzo duże zmniejszenie frakcji niezgodności (albo DPMO), i to tym większe, im wyższy poziom sigma już osiągnęliśmy. Na przykład, przechodząc z poziomu 3σ na 4σ, zmniejszamy liczbę braków

11 razy (=66810/6209), a przechodząc z poziomu 4σ na 5σ, zmniejszamy liczbę braków 27 razy; przy następnym kroku, do 6σ czynnik ten wynosi już 68.

Widoczna jest tu, w liczbach, dość oczywista prawda, że marsz w kierunku doskonałości może być coraz trudniejszy. Przełamanie pierwszych barier przy udoskonalaniu procesu da szybko efekty, ale później nie będzie już tak łatwo. Coraz trudniej udoskonalać coś, co jest już prawie doskonałe.

Długoterminowa zmienność procesu

Każdy proces cechuje się zmiennością krótkoterminową i długoterminową; szybką i wolną; wewnątrzpróbkową i całkowitą. Na poniższym wykresie zmienność krótkoterminowa ilustrowana jest przez funkcję gęstości prawdopodobieństwa (oczywiście rozkładu normalnego). Na osi pomiaru (-6, ... 6) rysowane są nie pojedyncze wartości pomiarowe, a krzywa Gaussa, która w syntetyczny sposób opisuje naturalną zmienność procesu. Sigma krzywej rozkładu wynosi tu 1.



W podejściu *Sześć sigma* zakłada się, że poza krótkoterminową zmiennością w każdym procesie istnieje jeszcze zmienność długoterminowa. Zakłada się konkretnie, że maksymalne odchylenie średniej wynosi 1,5σ. Tak więc, zgodnie z tym modelem średnia procesu na rysunku wędruje o 1,5 w prawo i w lewo. Na rysunku fluktuacje te modelowane są sinusoidą o okresie około jednego miesiąca (patrz oś czasu).

Na przykład w okolicy 6 lutego proces zbliżył się maksymalnie do górnej granicy (USL=6). Średnia procesu była tego dnia odległa od USL „zaledwie” o 4,5, dając 3,4 ppm defektów. Tydzień później proces się wycentrował, odległość średniej od USL i od LSL wynosiła 6σ, co daje 0,001 ppm defektów.

Można zapytać, jaka jest średnia frakcja niezgodności, jeżeli czasami wynosi ona 3,4 ppm, a czasami 0,001 ppm. Oczywiście 0,001 przy 3,4 to praktycznie zero, tak więc ważne jest tylko, przez jak długi okres czasu proces znajduje się najbliżej granic. Jeżeli można przyjąć, że proces przez 10% czasu zbliża się maksymalnie (na 4,5σ) do granic specyfikacji, to średnia frakcja braków będzie wynosiła 0,34 ppm. Trzeba jednak pamiętać, że pechowy odbiorca, który trafi w nasz zły okres, może dostać właśnie te 3,4 ppm.

Podsumowanie porównania Sześć sigma z tradycyjnym Trzy sigma

Uwzględnianie długoterminowej zmienności nie jest nowością. W tradycyjnym podejściu stosowane są wskaźniki zdolności i wykonania. Wskaźniki zdolności C_p, C_{pk} podsumowują krótkoterminową zmienność procesu, a tzw. wskaźniki wykonania P_p, P_{pk} opisują długoterminową zmienność (właściwie sumaryczną zmienność, czyli obie razem).

W metodzie *Sześć sigma* zakłada się, że długoterminowa zmienność równa jest półtorej zmienności krótkoterminowej, przy czym chodzi tu raczej o maksymalne odchylenie, a nie o odchylenie standardowe. Upraszczając nieco sprawę, można napisać następujące wzory przeliczające wskaźnik C_{pk} na poziom sigma procesu w rozumieniu metody *Sześć sigma*, który oznaczony tu jest L_σ (Level$_\sigma$):

$$C_{pk}=(L_\sigma-1,5)/3, \qquad L_\sigma=3C_{pk}+1,5.$$

Powyższe wzory dają pewną orientację, np. mając $C_{pk}=1$, wnioskujemy z drugiego wzoru, że $L_\sigma=4,5$. Z pierwszego wzoru natomiast obliczamy, że *proces 6σ* ($L_\sigma=6$) ma $C_{pk}=1,5$.

Literatura

1. F. W. Breyfogle III, *Implementing Six Sigma – Smarter Solutions Using Statistical Methods*, Wiley 1999.
2. M. Harry, R. Schroeder, *Six Sigma – wykorzystanie programu jakości do poprawy wyników finansowych*, Oficyna Ekonomiczna, 2000.
3. L. E. Schultz, 2001, *Co jest takiego innego w Sześć Sigma*, „Problemy Jakości” nr 12.
4. J. G. Voelkel, 2002, *Something's Missing – An education in statistical methods will make employees more valuable to Six Sigma corporations*, „Quality Progress”, v. 35, nr 5.
5. J. S. Hunter, 2002, *Shewhart Charts and Serially Recorded Data*, „Quality Progress”, v. 35, nr 2.
6. J. M. Lucas, 2002, *The Essential Six Sigma*, „Quality Progress”, v. 35, nr 1.